

SIMULATION MONTE CARLO EN MEDECINE NUCLEAIRE, RADIOTHERAPIE-CURIETHERAPIE AVEC UNE PLATEFORME DE SIMULATION GATE BASEE SUR GEANT4

Maigne L.

Laboratoire de Physique Corpusculaire, 24 avenue des Landais, 63177 Aubière cedex

Introduction :

GATE (Geant4 Application for Tomographic Emission) est une plateforme de simulation générique basée sur le code GEANT4 et élaborée pour répondre dans un premier temps aux besoins spécifiques de la communauté scientifique dans le domaine des applications SPECT/PET. Son champ d'application peut aussi s'étendre à des applications en radiothérapie-curiethérapie.

Avec le Laboratoire de Physique Corpusculaire (équipe Plate Forme de Calcul pour les Sciences du Vivant [1]), d'autres instituts de recherche sont intégrés dans le développement et la validation de cette plateforme de simulation au sein de la collaboration OpenGATE [2].

GATE complète les grandes potentialités offertes par le code Geant4 grâce à des modules spécifiques permettant d'élaborer des simulations réalistes : simulation du temps et des processus dépendants du temps tels que les mouvements des détecteurs et de la source radioactive, décroissance radioactive de noyaux, acquisitions de données en dynamique. GATE permet également la simulation de distributions d'émission complexes de sources radioactives et une description facile des géométries.

Dans un premier temps seront exposées les caractéristiques de la plateforme de simulation GATE et dans un deuxième temps nous expliquerons les diverses applications de ce code dans le domaine de la physique médicale.

Matériel et méthodes :

La plateforme de simulation GATE est basée sur Geant4, la dernière version de Geant4 compatible étant 4.5.0.

Un package basse énergie de Geant4 a été implémenté de manière à étendre l'utilisation de ce code jusqu'à une énergie de 250 eV pour les interactions électromagnétiques.

GATE se compose de modules spécifiques développés afin de faciliter l'utilisation de Geant4 pour des simulations en imagerie SPECT et PET. Un développement supplémentaire permet non plus de coder en C++ mais d'élaborer la totalité de sa simulation à l'aide de scripts de commande. L'utilisateur peut spécifier autant de géométries de sources qu'il désire, ces sources sont chacune définies par un radioisotope ou un type de particules et une activité initiale. La source radioactive peut se situer à n'importe quel endroit de la géométrie, son activité est uniformément répartie à l'intérieur d'un volume spécifié par l'utilisateur. L'utilisateur peut également choisir les processus physiques dans sa simulation et peut de même spécifier l'utilisation du package standard ou basse énergie de Geant4. Les coupures en parcours et en énergies peuvent également être spécifiées pour les photons et les électrons.

GATE peut modéliser des processus physiques dépendants du temps. L'utilisateur fixe le temps de son acquisition et peut subdiviser ce temps en plusieurs fenêtres de temps. Le nombre d'événements générés décroît alors suivant une loi exponentielle dépendant de la cinétique de décroissance de chaque isotope.

Divers domaines d'applications ont été étudiés avec GATE :

Tout d'abord en médecine nucléaire avec la simulation de la gamma caméra AXIS de Philips Marconi. Les deux têtes de la caméra ont été simulées ainsi qu'une source linéaire de ^{99m}Tc à différentes distances du collimateur. L'étude a consisté à étudier le spectre en énergie du ^{99m}Tc obtenu par simulation et à le comparer avec le spectre expérimental.

Dans un deuxième temps une étude de la résolution spatiale à différentes distances source-collimateur a été faite.

En curiethérapie, deux types de simulations ont été élaborées, l'une utilisant une source radioactive d' ^{192}Ir (émettrice gammas) dans la simulation d'un traitement de curiethérapie Haut Débit de Dose et une autre utilisant une source radioactive d' ^{106}Rh (émettrice bêta-) dans la simulation d'un traitement de curiethérapie oculaire utilisant des applicateurs ophtalmiques concaves fabriqués par la société Bebig.

Ces deux simulations ont permis de valider GATE dans le calcul de la dose déposée en un certain nombre de points d'intérêts. Les travaux effectués sur le traitement de curiethérapie HDD a d'ailleurs fait partie d'une intercomparaison internationale de l'**ENEA-QUADOS** (Bologne 14-16 Juillet 2003) entre différents codes de simulations (en particulier MCNP4C et MCNPX).

Les travaux en curiethérapie oculaire ont permis l'étude sur de faibles distances de la dose déposée par les électrons d'énergie moyenne 1,5 MeV. Le gradient de dose très élevé sur de courtes distances rend les mesures expérimentales très difficiles à entreprendre. Les mesures actuellement effectuées à l'aide de scintillateurs plastiques de très faible dimension sont entachées d'une erreur relative de 20%, ce qui ne permet pas d'optimiser ce type de traitement. La simulation Monte Carlo permet alors une étude précise du dépôt de dose dans l'eau.

En radiothérapie, a été réalisée la simulation complète d'un accélérateur Elekta en mode électrons.

L'énergie nominale des électrons étant de 6 MeV, une étude du profil de dose dans un fantôme d'eau pour un champ d'irradiation de 10 X 10 cm a été effectuée.

De manière à réduire significativement les temps de calcul des simulations, une parallélisation de cette plate-forme sur grille de calcul est en cours. Chaque simulation GATE est découpée en une multitude de petites simulations envoyées sur des processeurs distribués géographiquement sur la grille.

Des tests de temps d'exécution des simulations ont été effectués en utilisant les machines disponibles au centre de calcul de l'IN2P3 à Lyon (panel de plus de 200 biprocesseurs PIII 750 MHz, 1GHz, 1,4GHz) afin de démontrer l'efficacité d'une telle parallélisation.

Les résultats physiques obtenus après parallélisation ont été comparés à ceux obtenus lors d'une exécution d'une simulation sur une machine locale.

Résultats et Conclusion :

La totalité des simulations effectuées avec le logiciel GATE donne des résultats très concluants. Sa facilité d'utilisation accompagnée de la puissance du code de simulation GEANT4 en font un outil convivial et performant.

Les travaux effectués de manière à paralléliser le code de simulation réduisent considérablement le temps de calcul pour une simulation donnée.

La release publique de ce logiciel est prévue pour Mai 2004.

Références :

[1] : <http://clrpcsv.in2p3.fr>

[2] : OpenGATE collaboration

<http://www-iphe.unil.ch/~PET/research/gate/>